

**BAB III**  
**PENERAPAN LOGIKA *FUZZY***  
**METODE MAMDANI DAN SUGENO PADA PENJADWALAN *DELAY***  
**LAMPU HIJAU LALU LINTAS**

Bab ini membahas optimisasi *delay* lampu hijau lalu lintas di persimpangan Jalan P.H.H. Mustofa dan Jalan Jend. Ahmad Yani Bandung menggunakan logika *fuzzy* metode Mamdani dan Sugeno. *Delay* lampu hijau adalah lama waktu nyala lampu hijau di ruas jalan masing-masing arah pada suatu persimpangan. Ruas jalan tersebut disebut fase.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung penjadwalan *delay* lampu hijau lalu lintas yang optimal di suatu pertigaan. Penjadwalan *delay* lampu hijau yang optimal adalah runtunan siklus *delay* lampu hijau terpendek dengan kendala tertentu. Satu siklus dimulai dari lampu hijau menyala di satu fase ke fase yang lain, hingga lampu hijau di fase awal menyala. Selanjutnya akan dilakukan perbandingan optimisasi *delay* lampu hijau lalu lintas menggunakan logika *fuzzy* metode Mamdani dan Sugeno.

### **3.1 Analisis Masalah**

Tahapan ini terdiri atas analisis bentuk persimpangan, posisi lampu lalu lintas, dan identifikasi permasalahan yang sering terjadi pada persimpangan tersebut.

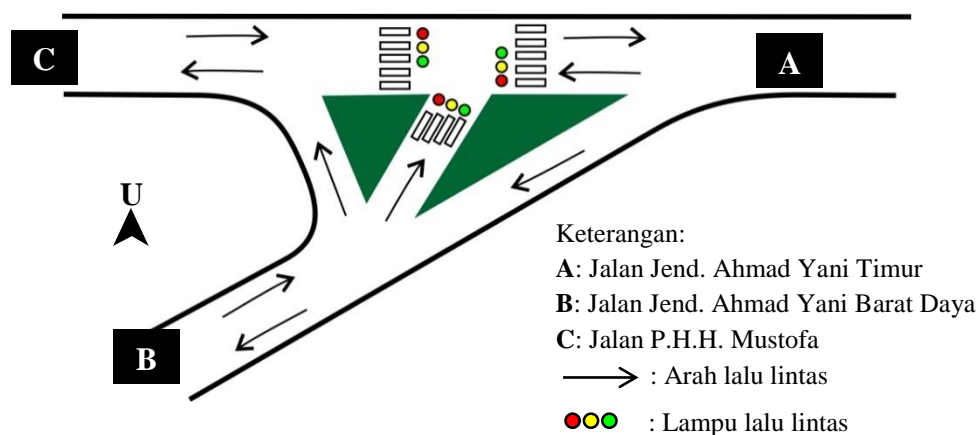
#### **3.1.1 Bentuk Persimpangan**

Pertigaan Cicaheum adalah persimpangan tiga yang memotong Jalan P.H.H. Mustofa dan Jalan Jend. Ahmad Yani. Arah timur persimpangan adalah Jalan Jend. Ahmad Yani Timur, arah barat daya adalah Jalan Jend. Ahmad Yani Barat Daya, dan arah barat adalah Jalan P.H.H. Mustofa. Masing-masing fase hanya memiliki satu arah yang melewati aturan *delay* lampu lalu lintas pertigaan tersebut. Bentuk persimpangan ini digambarkan pada Gambar 3.1.

### 3.1.2 Posisi Lampu Lalu Lintas


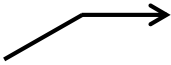

Lampu lalu lintas yang dipasang pada suatu persimpangan digunakan untuk mengatur pengendara atau penyeberang jalan yang melewati persimpangan tersebut. Ketika lampu hijau menyala, pengendara atau penyeberang jalan boleh melewati persimpangan tersebut. Sedangkan ketika lampu merah yang menyala, pengendara atau penyeberang jalan harus berhenti dan tidak boleh melintas persimpangan tersebut.

Pada pertigaan Cicaheum, terdapat tiga lampu lalu lintas utama. Pertama, lampu lalu lintas yang mengatur pengendara dari arah Jalan Jend. Ahmad Yani Timur (fase A) menuju Jalan P.H.H. Mustofa. Lampu lalu lintas tersebut selanjutnya disebut lampu lalu lintas fase A. Kedua, lampu lalu lintas yang mengatur pengendara dari arah Jalan Jend. Ahmad Yani Barat Daya (fase B) menuju Jalan Jend. Ahmad Yani Timur. Lampu lalu lintas tersebut selanjutnya disebut lampu lalu lintas fase B. Ketiga, lampu lalu lintas yang mengatur pengendara dari arah Jalan P.H.H. Mustofa (fase C) menuju Jalan Jend. Ahmad Yani Timur. Lampu lalu lintas tersebut selanjutnya disebut lampu lalu lintas fase C (lihat Gambar 3.1 dan Tabel 3.1).



**Gambar 3. 1** Bentuk Pertigaan dan Penempatan Lampu Lalu Lintas Cicaheum

**Tabel 3.1** Keterangan Arah Fase

Fase A		Siklus arus kendaraan dari Jalan Jend. Ahmad Yani Timur menuju Jalan P.H.H. Mustofa.
Fase B		Siklus arus kendaraan dari Jalan Jend. Ahmad Yani Barat Daya menuju Jalan Jend. Ahmad Yani Timur.
Fase C		Siklus arus kendaraan dari Jalan Jalan P.H.H. Mustofa menuju Jalan Jend. Ahmad Yani Timur.

### 3.1.3 Permasalahan di Pertigaan Cicaheum

Pertigaan Cicaheum memiliki tiga lampu lalu lintas utama yang mengatur masing-masing fase dan memiliki sebuah CCTV yang merekam aktivitas di pertigaan tersebut. CCTV tersebut dapat diputar 360 derajat, bergantung pada petugas yang mengawas CCTV mengarahkan ke arah mana. Lampu lalu lintas dipasang di pertigaan tersebut untuk mengatur pengendara atau penyeberang jalan yang melewati agar terhindar dari kecelakaan dan kemacetan. Tetapi pada sore menjelang malam, sekitar pukul 16.00 s.d. 19.00 WIB, sering terjadi kemacetan di pertigaan tersebut, yaitu ketika jam pulang kerja. Berdasarkan pengamatan, kemacetan tersebut disebabkan oleh pengendara yang semakin banyak pada jam tersebut. Para pengendara tersebut berasal dari arah Jalan Jend. Ahmad Yani Barat Daya dan Jalan P.H.H. Mustofa yang menuju arah yang sama, yaitu Jalan Jend. Ahmad Yani Timur. Tidak hanya kendaraan yang melintas, kadang angkutan umum yang menunggu penumpang penyebab kemacetan di sana, *delay* lampu lalu lintas juga memengaruhi antrean kendaraan di masing-masing fase.

## 3.2 Analisis Data

Tahap selanjutnya yang peneliti lakukan adalah menganalisis data. Analisis data dilakukan untuk mengklasifikasikan data yang dapat dijadikan kendala pada model *delay* lampu hijau lalu lintas. Terdapat dua data yang dibutuhkan

pada model *delay* lampu hijau lalu lintas, yaitu data *delay* lampu lintas yang diatur oleh Dinas Perhubungan (Dishub) Kota Bandung dan data volume kendaraan yang diperoleh dengan mengamati rekaman CCTV.

### 3.2.1 Data Dishub

Data Dishub yang dimaksud adalah data perencanaan dan pengaturan *delay* lampu lalu lintas yang ditetapkan oleh Dinas Perhubungan Kota Bandung. Berdasarkan data yang didapatkan, *delay* lampu hijau pukul 14.00 s.d. 21.00 WIB dari hari Senin hingga Sabtu diatur dengan *delay* lampu hijau yang sama, yaitu 90 detik untuk fase A dan 60 detik untuk fase B, sedangkan hari Minggu diatur dengan *delay* yang sama tetapi hanya sampai pukul 20.00 WIB.

### 3.2.2 Data Volume Kendaraan

Data volume kendaraan di pertigaan Cicaheum dapat dilihat dari rekaman CCTV. Pada rekaman CCTV yang didapatkan peneliti, CCTV tidak diarahkan pada satu arah saja. Kadang diarahkan ke timur, ke selatan, atau ke barat. Dari hal tersebut, satu-satunya fase yang dapat diamati dari semua rekaman adalah fase A. Sehingga, data yang dapat dicatat dari rekaman tersebut hanya volume kendaraan dari arah timur, yaitu Jalan Jend. Ahmad Yani Timur (fase A).

Peneliti mencatat banyaknya kendaraan roda empat atau lebih dari fase A setiap siklusnya (setiap 90 detik) dari pukul 15.00-20.00 WIB pada tanggal 1-7 Juli 2019. Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa kendaraan roda empat atau lebih yang melewati pertigaan Cicaheum dari Jalan Jend. Ahmad Yani Timur paling sedikit adalah 5 kendaraan dan paling banyak adalah 46 kendaraan setiap 90 detik.

Berdasarkan analisis data di atas, peneliti mendefinisikan dua variabel yang dapat dijadikan sebagai variabel *input* untuk memperoleh *delay* lampu lalu lintas yang optimal. Dua variabel *input* tersebut adalah *delay* lampu hijau oleh Dishub (*DD*) dan volume kendaraan yang melewati persimpangan saat lampu hijau menyala per 90 detik (*DK*). Sedangkan variabel *output*nya adalah *delay* lampu hijau lalu lintas yang optimal (*DO*).

Reka Septiani, 2019

*Optimisasi Delay Lampu Hijau Lalu Lintas Menggunakan Logika Fuzzy Metode Mamdani dan Metode Sugeno (Studi Kasus di Persimpangan Jalan P.H.H. Mustofa - Jalan Jend. Ahmad Yani Bandung)*

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

### 3.3 Model Delay Lampu Hijau Lalu Lintas

Pada tahap ini akan dibangun model matematika yang sesuai untuk optimisasi *delay* lampu hijau lalu lintas. Berdasarkan pengamatan, *delay* lampu hijau fase A sama dengan fase C (baik durasi maupun waktunya). Maka pada model matematika hanya dua fase yang dilibatkan (fase A dan fase B) karena fase C sudah diwakilkan oleh fase A. Sedangkan pada volume kendaraan, hanya fase A yang dapat dicatat dari rekaman CCTV.

Misalkan  $F$  himpunan fase, yaitu  $F = \{\text{fase A, fase B}\}$ , maka untuk setiap fase  $i \in F$  didefinisikan parameter-parameter berikut.

1.  $p_i$  adalah *delay* lampu hijau yang diberikan oleh Dishub untuk fase  $i$  (detik).
2.  $q$  adalah *delay* akibat volume kendaraan pada fase A.
3.  $\alpha_i$  adalah bobot *delay* lampu hijau yang diberikan Dishub untuk fase  $i$  (detik).
4.  $\beta$  adalah bobot *delay* akibat volume kendaraan pada fase A.

Masalah optimisasi *delay* lampu hijau lalu lintas dapat dimodelkan sebagai berikut.

Meminimumkan:

$$z = \sum_{i \in F} d_i \quad (3.1)$$

Terhadap:

$$\begin{aligned} d_i &= \alpha_i p_i + \beta q, i \in F \\ d_i &\geq 30, i \in F \\ d_i &\leq 120, i \in F \\ p_i, q, \alpha_i, \beta &\geq 0, i \in F \end{aligned} \quad (3.2)$$

Pada Persamaan (3.1), *delay* lampu hijau yang optimal ( $d_i$ ) adalah *delay* lampu hijau dalam satu siklus yang minimum terhadap kendala yang ada pada Persamaan (3.2). Kendala tersebut diturunkan berdasarkan *delay* lampu hijau terpendek dan terpanjang yang diberikan oleh Dishub serta volume kendaraan. *Delay* lampu hijau yang optimal dalam satu siklus adalah penjumlahan *delay* lampu hijau yang diberikan Dishub ( $p$ ) dan *delay* akibat volume kendaraan ( $q$ ) dengan bobot masing-masing pada fase A dan fase B yang pada kenyataannya, bobot tersebut ( $\alpha$  dan  $\beta$ ) tidak diketahui dengan pasti. Pada penelitian ini,

kedua nilai tersebut diestimasi dengan menerapkan logika *fuzzy* metode Mamdani dan Sugeno.

### 3.4 Penerapan Logika *Fuzzy* Metode Mamdani pada Masalah Optimisasi Delay Lampu Hijau

Penjadwalan *delay* lampu lalu lintas biasa diatur oleh Dinas Perhubungan. Penjadwalan tersebut mempertimbangkan volume kendaraan pada masing-masing fase di suatu persimpangan. Penjadwalan *delay* lampu lalu lintas yang kurang optimal dapat menyebabkan penumpukan kendaraan di fase tertentu. Oleh karenanya, pengoptimalan *delay* lampu lalu lintas perlu dilakukan.

Untuk menyelesaikan masalah optimisasi *delay* lampu lalu lintas, peneliti menggunakan logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* adalah kaidah berpikir samar. Jika logika tegas hanya mengenal nilai 0 dan 1 (salah dan benar), pada logika *fuzzy* dikenalkan nilai  $[0,1]$ . Terdapat kesamaran, ketidaktepatan, atau ketidakpastian di dalamnya. sehingga sesuatu dapat bernilai benar dan salah secara bersamaan.

Sistem penarikan kesimpulan dari sekumpulan logika *fuzzy* disebut *Fuzzy Inference System* (FIS). Proses-proses di dalam FIS, yaitu fuzzifikasi, aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan, dan defuzzifikasi. FIS dapat dibangun dengan tiga metode, yaitu Sugeno, Mamdani, atau Tsukamoto. Pada penelitian ini akan digunakan dua metode, yaitu Mamdani dan Sugeno. Karena berdasarkan beberapa referensi yang membandingkan metode-metode di atas, metode Mamdani dan Sugeno lebih optimal dalam menyelesaikan suatu masalah.

Tahap awal yang dilakukan adalah menentukan variabel *input* dan *output* berdasarkan data yang telah diperoleh, yang selanjutnya diubah menjadi himpunan *fuzzy*. Tahap ini disebut fuzzifikasi. Tahap kedua adalah aplikasi fungsi implikasi, yaitu penyusunan aturan-aturan berupa implikasi yang menghubungkan variabel *input* dan *output*. Tahap selanjutnya adalah komposisi aturan, yaitu penggabungan atau pengirisan aturan-aturan yang telah dibuat. Tahap terakhir adalah mengembalikan variabel *output* dari himpunan *fuzzy* ke dalam nilai yang tegas. *Output* tersebut merupakan *delay* lampu lalu lintas yang optimal.

### 3.4.1 Fuzzifikasi

Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel, yaitu dua variabel *input* dan satu variabel *output*. Variabel *input* tersebut adalah *delay* lampu hijau lalu lintas oleh Dishub dan volume kendaraan. Sedangkan variabel *output* adalah *delay* lampu hijau lalu lintas optimal untuk setiap fase. Berikut masing-masing variabel yang dibagi menjadi beberapa himpunan *fuzzy* beserta fungsi keanggotaannya.

#### 1. Delay Lampu Hijau Lalu Lintas oleh Dishub (DD)

Berdasarkan data *delay* lampu lalu lintas yang diberikan oleh Dinas Perhubungan Kota Bandung, peneliti mengamati *delay* lampu hijau terpendek dan terpanjang. Selanjutnya peneliti membaginya menjadi dua himpunan *fuzzy*, yaitu sebentar (*S*) dan lama (*L*).

Misalkan  $x$  adalah *delay* lampu lalu lintas yang diberikan oleh Dishub, maka  $x$  adalah anggota himpunan *fuzzy* dari variabel *input* DD dengan fungsi keanggotaan sebagai berikut.

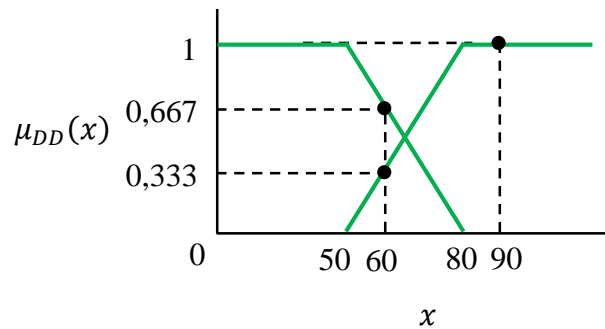
$$\begin{aligned}\mu_{DD\_S}(x) &= \begin{cases} 1; & x \leq 50 \\ \frac{(80 - x)}{(80 - 50)}; & 50 < x < 80 \\ 0; & x \geq 80 \end{cases} \\ \mu_{DD\_L}(x) &= \begin{cases} 0; & x \leq 50 \\ \frac{(x - 50)}{(80 - 50)}; & 50 < x < 80 \\ 1; & x \geq 80 \end{cases} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Berdasarkan data yang diberikan oleh Dishub, setiap hari pada pukul 14.00-20.00 WIB, *delay* lampu hijau pada pertigaan Cicaheum pada fase A dan fase B adalah 90 detik dan 60 detik. Maka derajat keanggotaan masing-masing nilai tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\mu_{DD\_S}(60) &= \frac{80 - 60}{80 - 50} = \frac{20}{30} = 0,667 \\ \mu_{DD\_L}(60) &= \frac{60 - 50}{80 - 50} = \frac{10}{30} = 0,333 \\ \mu_{DD\_S}(90) &= 0 \\ \mu_{DD\_L}(90) &= 1\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, *delay* lampu hijau selama 60 detik termasuk himpunan sebentar dengan derajat keanggotaan 0,667 dan termasuk himpunan lama dengan derajat keanggotaan 0,333. Sedangkan *delay* lampu hijau selama 90 detik tidak termasuk himpunan sebentar, tetapi termasuk himpunan lama dengan derajat keanggotaan 0,333.

Kurva yang merepresentasikan fungsi keanggotaan dari variabel *input* *DD* diilustrasikan pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Kurva Fungsi Keanggotaan *DD*

## 2. Volume Kendaraan (*DK*)

Berdasarkan rekaman CCTV pukul 15.00-20.00 WIB, peneliti mengamati banyaknya kendaraan roda empat atau lebih yang melintas setiap siklusnya (90 detik) dari fase A. Dari pengamatan tersebut diperoleh nilai paling sedikit dan paling banyak yang kemudian variabel *DK* dibagi menjadi empat himpunan *fuzzy*, yaitu sangat sedikit (*SSd*), sedikit (*Sd*), banyak (*B*), dan sangat banyak (*SB*).

Misalkan *y* adalah banyaknya kendaraan roda empat atau lebih yang melintas setiap 90 detik, maka *y* adalah anggota himpunan *fuzzy* dari variabel *input* *DK* dengan fungsi keanggotaan sebagai berikut.

$$\mu_{DK\_SSd}(y) = \begin{cases} 1; & y \leq 10 \\ \frac{(15 - y)}{(15 - 10)}; & 10 < y < 15 \\ 0; & y \geq 15 \end{cases}$$

$y \leq 10$  atau  $y \geq 25$   
 $10 < y < 15$   
 $15 \leq y \leq 20$   
 $20 < y < 25$



$$\begin{aligned}
\mu_{DK\_Sd}(y) &= \begin{cases} 0; & y \leq 10 \\ \frac{(y-10)}{(15-10)}; & 10 < y < 15 \\ 1; & 15 \leq y \leq 20 \\ \frac{(25-y)}{(25-20)}; & 20 < y < 25 \\ 0; & y \geq 25 \end{cases} \\
\mu_{DK\_B}(y) &= \begin{cases} 0; & y \leq 20 \text{ atau } y \geq 35 \\ \frac{(y-20)}{(25-20)}; & 20 < y < 25 \\ 1; & 25 \leq y \leq 30 \\ \frac{(35-y)}{(35-30)}; & 30 < y < 35 \\ 0; & y \geq 35 \end{cases} \\
\mu_{DK\_SB}(y) &= \begin{cases} 0; & y \leq 30 \\ \frac{(y-30)}{(35-30)}; & 30 < y < 35 \\ 1; & y \geq 35 \end{cases} \quad (3.4)
\end{aligned}$$

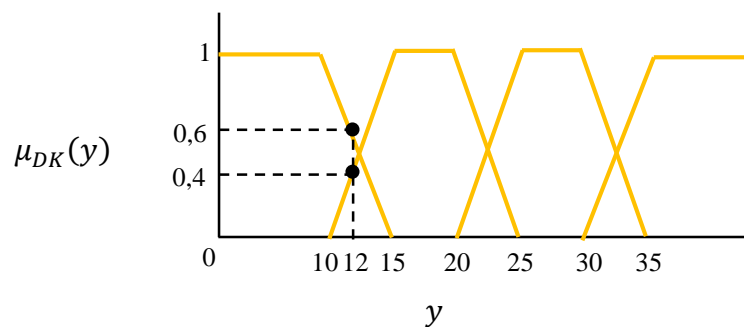
Sebagai contoh, jika diketahui volume kendaraan adalah 12 kendaraan per 90 detik, maka:

$$\mu_{DK\_SSd}(12) = \frac{(15-12)}{(15-10)} = \frac{3}{5} = 0,6$$

$$\mu_{DK\_Sd}(12) = \frac{(12-10)}{(15-10)} = \frac{2}{5} = 0,4$$

Perhitungan di atas menyatakan bahwa volume kendaraan sebanyak 12 kendaraan per 90 detik termasuk himpunan sangat sedikit dengan derajat keanggotaan 0,6 dan termasuk himpunan sedikit dengan derajat keanggotaan 0,4.

Kurva yang merepresentasikan fungsi keanggotaan dari variabel *input* DK diilustrasikan pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Kurva Fungsi Keanggotaan DK

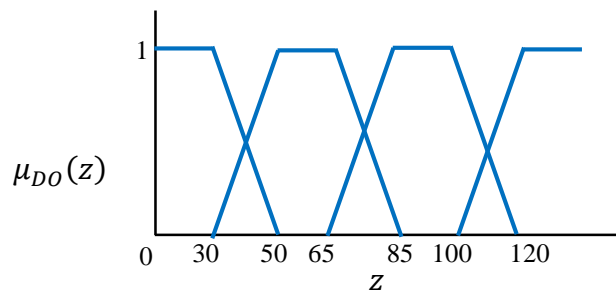
### 3. Delay Lampu Hijau Lalu Lintas Optimal (DO)

Berdasarkan data *delay* lampu lalu lintas yang diberikan oleh Dishub dan volume kendaraan yang direkam CCTV, peneliti menentukan *delay* lampu hijau lalu lintas optimal terpendek dan terpanjang, yaitu 30 detik dan 120 detik. Selanjutnya peneliti membaginya menjadi empat himpunan *fuzzy*, yaitu sangat sebentar (*SS*), sebentar (*S*), lama (*L*), dan sangat lama (*SL*).

Misalkan  $z$  adalah *delay* lampu hijau lalu lintas optimal, maka  $z$  adalah anggota himpunan *fuzzy* dari variabel *input* *DO* dengan fungsi keanggotaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\mu_{DO\_SS}(z) &= \begin{cases} 1; & z \leq 30 \\ \frac{(50 - z)}{(50 - 30)}; & 30 < z < 50 \\ 0; & z \geq 50 \end{cases} \\ \mu_{DO\_S}(z) &= \begin{cases} 0; & z \leq 30 \text{ atau } z \geq 85 \\ \frac{(z - 30)}{(50 - 30)}; & 30 < z < 50 \\ 1; & 50 \leq z \leq 65 \\ \frac{(85 - z)}{(85 - 65)}; & 65 < z < 85 \end{cases} \\ \mu_{DO\_L}(z) &= \begin{cases} 0; & z \leq 65 \text{ atau } z \geq 120 \\ \frac{(z - 65)}{(85 - 65)}; & 65 < z < 85 \\ 1; & 85 \leq z \leq 100 \\ \frac{(120 - z)}{(120 - 100)}; & 100 < z < 120 \end{cases} \\ \mu_{DO\_SL}(z) &= \begin{cases} 0; & z \leq 100 \\ \frac{(z - 100)}{(120 - 100)}; & 100 < z < 120 \\ 1; & z \geq 120 \end{cases} \quad (3.5)\end{aligned}$$

Kurva yang merepresentasikan fungsi keanggotaan dari variabel *input* *DO* diilustrasikan pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Kurva Fungsi Keanggotaan *DO*

Reka Septiani, 2019

*Optimisasi Delay Lampu Hijau Lalu Lintas Menggunakan Logika Fuzzy Metode Mamdani dan Metode Sugeno (Studi Kasus di Persimpangan Jalan P.H.H. Mustofa - Jalan Jend. Ahmad Yani Bandung)*

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

### 3.4.2 Aplikasi Operator Fuzzy

Untuk memperoleh *delay* lampu lalu lintas yang optimal, peneliti mengaplikasikan operator *and* pada aturan fuzzy yang berarti mengambil irisan dari himpunan-himpunan. Berikut aturan-aturan fuzzy yang ditetapkan.

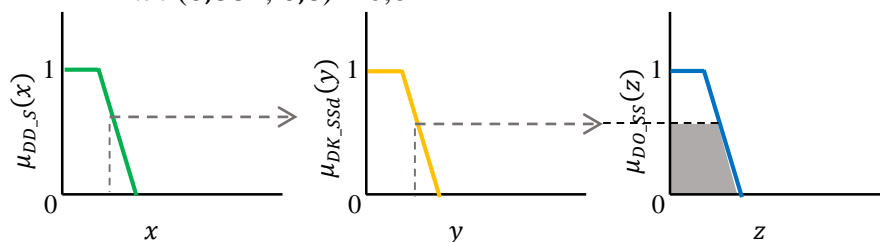
**Tabel 3.2** Aturan Fuzzy pada Metode Mamdani

Aturan		Delay Dishub		Volume Kendaraan		Delay Optimal
R1	if	Sebentar	and	Sangat Sedikit	then	Sangat Sebentar
R2		Sebentar		Sedikit		Sangat Sebentar
R3		Sebentar		Banyak		Sebentar
R4		Sebentar		Sangat Banyak		Sebentar
R5		Lama		Sangat Sedikit		Sangat Sebentar
R6		Lama		Sedikit		Sebentar
R7		Lama		Banyak		Lama
R8		Lama		Sangat Banyak		Sangat Lama

### 3.4.3 Aplikasi Fungsi Implikasi

Tahap selanjutnya adalah mengaplikasikan fungsi implikasi. Fungsi implikasi yang digunakan pada metode Mamdani adalah *min*. Pada fungsi ini, *output* himpunan fuzzy akan dipotong (lihat Gambar 2.15). Sebagai contoh, ambil aturan R1, R2, R5, dan R6 pada Tabel 3.2. Misalkan ambil *delay* yang diberikan Dishub (*DD*) selama 60 detik dan volume kendaraan yang melewati persimpangan saat lampu hijau (*DK*) adalah 12 kendaraan per 90 detik, maka: [R1] if *DD* sebentar and *DK* sangat sedikit then *DO* sangat sebentar (lihat Gambar 3.5).

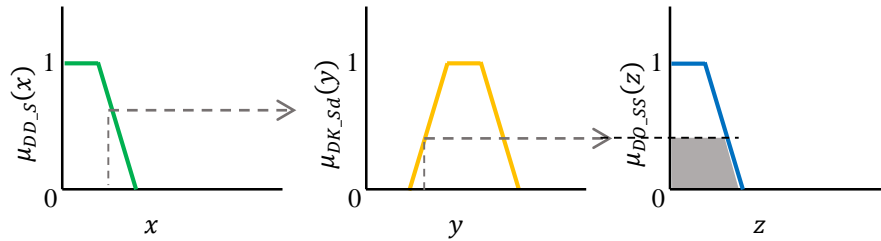
$$\begin{aligned}
 \alpha\text{-predikat}_1 &= \mu_{DO\_SS}(z) \\
 &= \min(\mu_{DD\_S}(60), \mu_{DK\_SSd}(12)) \\
 &= \min(0,667, 0,6) = 0,6
 \end{aligned}$$



**Gambar 3.5** Ilustrasi Fungsi Implikasi Min [R1]

[R2] *if DD sebentar and DK sedikit then DO sangat sebentar* (lihat Gambar 3.6).

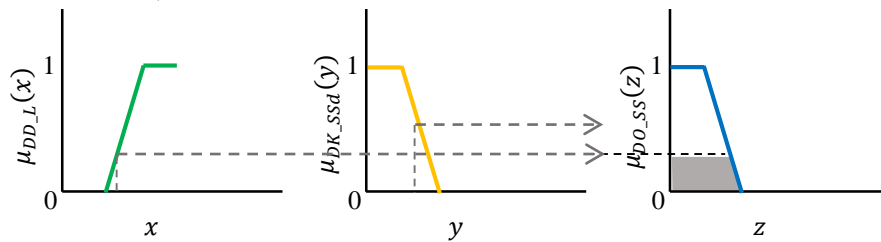
$$\begin{aligned}
 \alpha\text{-predikat}_2 &= \mu_{DO\_ss}(z) \\
 &= \min (\mu_{DD\_s}(60), \mu_{DK\_sd}(12)) \\
 &= \min (0,667, 0,4) \\
 &= 0,4
 \end{aligned}$$



**Gambar 3.6** Ilustrasi Fungsi Implikasi Min [R2]

[R5] *if DD lama and DK sangat sedikit then DO sangat sebentar* (lihat Gambar 3.7).

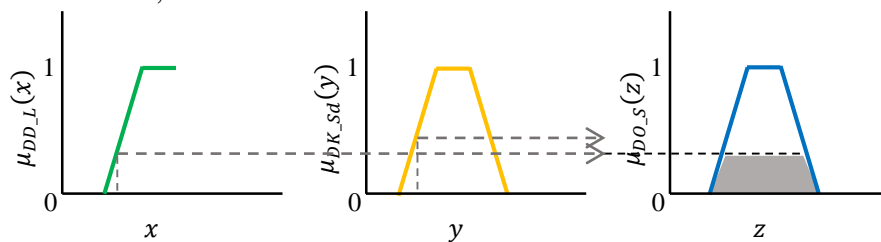
$$\begin{aligned}
 \alpha\text{-predikat}_5 &= \mu_{DO\_ss}(z) \\
 &= \min (\mu_{DD\_L}(60), \mu_{DK\_ssd}(12)) \\
 &= \min (0,333, 0,6) \\
 &= 0,333
 \end{aligned}$$



**Gambar 3.7** Ilustrasi Fungsi Implikasi Min [R5]

[R6] *if DD lama and DK sedikit then DO sebentar* (lihat Gambar 3.8).

$$\begin{aligned}
 \alpha\text{-predikat}_6 &= \mu_{DO\_s}(z) \\
 &= \min (\mu_{DD\_L}(60), \mu_{DK\_sd}(12)) \\
 &= \min (0,333, 0,4) \\
 &= 0,333
 \end{aligned}$$



**Gambar 3.8** Ilustrasi Fungsi Implikasi Min [R6]

Reka Septiani, 2019

*Optimisasi Delay Lampu Hijau Lalu Lintas Menggunakan Logika Fuzzy Metode Mamdani dan Metode Sugeno (Studi Kasus di Persimpangan Jalan P.H.H. Mustofa - Jalan Jend. Ahmad Yani Bandung)*

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

### 3.4.4 Komposisi Aturan

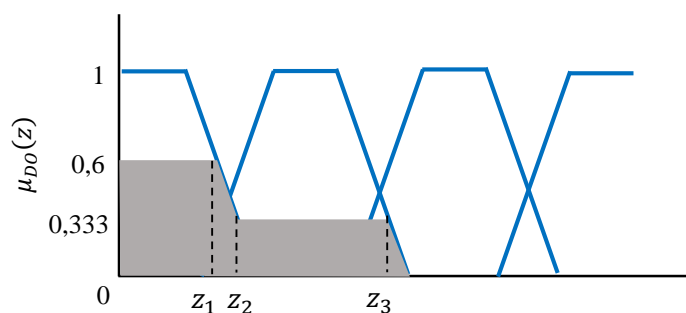
Tahap selanjutnya adalah mengkomposisikan aturan. Metode komposisi yang dipakai pada logika *fuzzy* metode Mamdani adalah metode *max*. Pada metode *max*, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan mengambil nilai maksimum aturan-aturan, lalu menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy*, dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator *or*.

Misalkan untuk kasus contoh sebelumnya, hasil inferensi menggunakan metode *max* dalam melakukan komposisi aturan dapat dilihat pada Gambar 3.9. Berdasarkan daerah hasil komposisi pada gambar tersebut, akan dicari nilai dari  $z_1$ ,  $z_2$ , dan  $z_3$ . Nilai tersebut diperoleh berdasarkan fungsi keanggotaan  $DO$  yang telah ditetapkan sebelumnya. Berikut nilai  $z_1$ ,  $z_2$ , dan  $z_3$ .

$$0,6 = \frac{(50 - z_1)}{(50 - 30)} \Rightarrow z_1 = 38$$

$$0,333 = \frac{(50 - z_2)}{(50 - 30)} \Rightarrow z_2 = 43,34$$

$$0,333 = \frac{(85 - z_3)}{(85 - 65)} \Rightarrow z_3 = 78,34$$

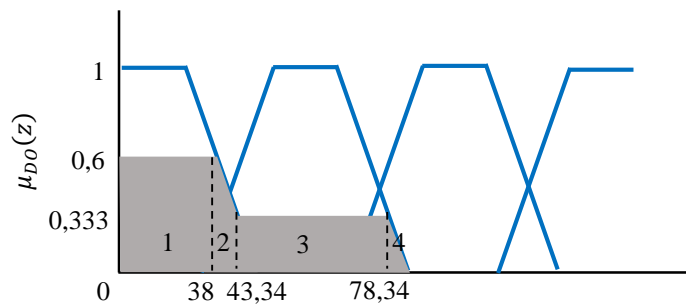


**Gambar 3.9** Daerah Hasil Komposisi

### 3.4.5 Defuzzifikasi

Tahap terakhir adalah defuzzifikasi. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode *centroid*. Metode ini merupakan pembagian antara momen ( $M$ ) dan luas daerah ( $A$ ). Pada contoh kasus sebelumnya, untuk mempermudah perhitungan, daerah hasil komposisi dibagi menjadi beberapa partisi (lihat Gambar 3.10). Maka *delay* optimal yang dicari adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
z^* &= \frac{\int z\mu(z) dz}{\int \mu(z) dz} \\
&= \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \\
&= \frac{\int_0^{38} 0,6z dz + \int_{38}^{43,34} (2,5 - 0,05z)z dz + \int_{43,34}^{78,34} 0,333z dz + \int_{78,34}^{85} (4,25 - 0,05z)z dz}{\int_0^{38} 0,6 dz + \int_{38}^{43,34} (2,5 - 0,05z) dz + \int_{43,34}^{78,34} 0,333 dz + \int_{78,34}^{85} (4,25 - 0,05z) dz} \\
&= \frac{433,2 + 100,679 + 709,09 + 89,332}{22,8 + 3,791 + 11,655 + 1,109} \\
&= \frac{1332,301}{39,355} \\
&= 33,853
\end{aligned}$$



**Gambar 3.10** Partisi Daerah Hasil Komposisi

### 3.5 Penerapan Logika Fuzzy Metode Sugeno pada Masalah Optimisasi Delay Lampu Hijau

#### 3.5.1 Fuzzifikasi

Perbedaan metode Mamdani dan Sugeno adalah pada himpunan fuzzy variabel *output*. Pada metode Sugeno, variabel *output* berupa *singleton*. Berdasarkan data *delay* lampu lalu lintas yang diberikan oleh Dishub dan volume kendaraan yang direkam CCTV, peneliti menentukan *singleton-singleton* pada variabel *output* (DO). Berikut masing-masing *singleton* yang ditentukan peneliti.

Sangat Sebentar	= 30 detik
Sebentar	= 60 detik
Lama	= 90 detik
Sangat Lama	= 120 detik

Reka Septiani, 2019

*Optimisasi Delay Lampu Hijau Lalu Lintas Menggunakan Logika Fuzzy Metode Mamdani dan Metode Sugeno (Studi Kasus di Persimpangan Jalan P.H.H. Mustofa - Jalan Jend. Ahmad Yani Bandung)*

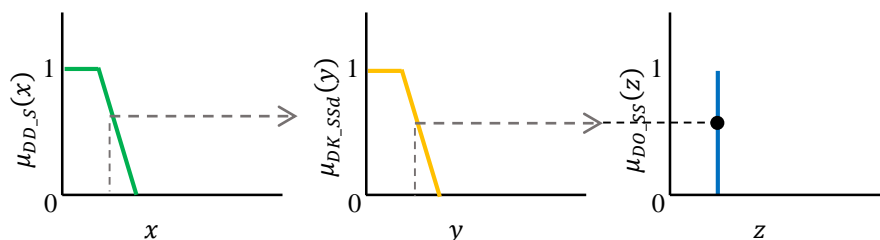
Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

### 3.5.2 Aplikasi Operator Fuzzy

Pada tahap ini, pengaplikasian operator *fuzzy* metode Sugeno sama dengan pengaplikasian operator *fuzzy* metode Mamdani, yaitu menggunakan operator *and* pada semua aturan (lihat Tabel 3.2). Tetapi, untuk konsekuen aturan berbeda dengan metode Mamdani. Jika konsekuen pada metode Mamdani berupa himpunan *fuzzy*, konsekuen pada metode Sugeno berupa *singleton*.

### 3.5.3 Aplikasi Fungsi Implikasi

Tahap selanjutnya adalah mengaplikasikan fungsi implikasi. Pada metode Sugeno, fungsi implikasi *min* dan dot berlaku sama. Memotong (*min*) ataupun menskala (*dot*) *output* pada metode ini akan sama. Karena *output* tersebut berupa garis (*singleton*). Berikut ilustrasi dari aplikasi fungsi implikasi metode Sugeno untuk aturan R1.

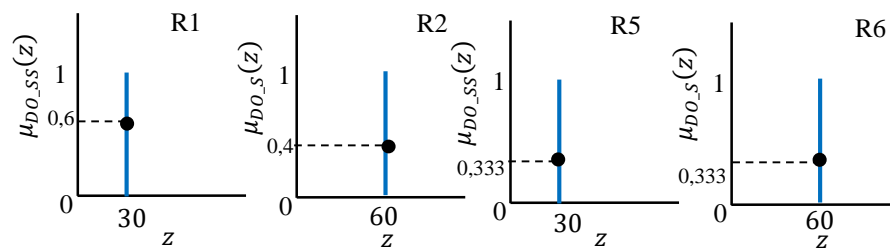


**Gambar 3. 11** Ilustrasi Aplikasi Fungsi Implikasi R1

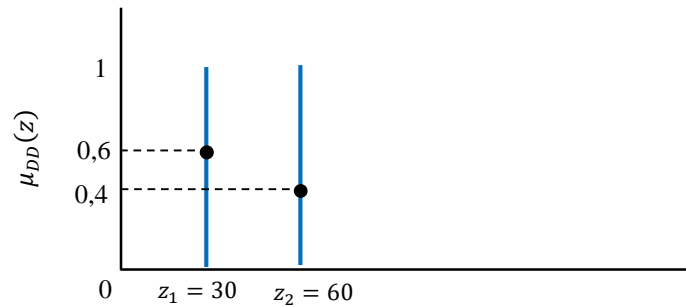
### 3.5.4 Komposisi Aturan

Pada tahap ini, aturan-aturan dikomposisikan dengan metode *max*, dengan kata lain menggunakan operator *or*. Jika pada metode Mamdani hasil gabungan aturan-aturan berupa himpunan *fuzzy*, pada metode Sugeno gabungan tersebut berupa *singleton-singleton*.

Misalkan diperoleh konsekuen-konsekuen aturan R1, R2, R5, dan R6 seperti pada Gambar 3.12. Hasil komposisi dari aturan-aturan tersebut digambarkan pada Gambar 3.13. Nilai masing-masing *z* tidak perlu dicari lagi seperti contoh pada metode Mamdani, karena *z* tersebut sudah ditentukan di awal pada tahap fuzzifikasi metode Sugeno.



**Gambar 3.12** Ilustrasi Konsekuen R1, R2, R5, dan R6



**Gambar 3.13** Hasil Komposisi

### 3.5.5 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah tahapan terakhir dari penerapan logika *fuzzy*. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode *weighted average* (rata-rata terbobot). Untuk kasus pada Gambar 3.13, *delay* optimal yang dicari adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 z^* &= \frac{\sum z \mu(z)}{\sum \mu(z)} \\
 &= \frac{z_1 \mu(z_1) + z_2 \mu(z_2)}{\mu(z_1) + \mu(z_2)} \\
 &= \frac{(30 \times 0,6) + (60 \times 0,4)}{0,6 + 0,4} \\
 &= \frac{18 + 24}{1} \\
 &= 42
 \end{aligned}$$